

科研动态

重大突破

学术交流

奖励荣誉

首页 > 科研动态 > 重大突破

重大突破

紫金山天文台在轻暗物质探测方面取得重要进展

文章来源：紫金山天文台 | 作者： | 发布时间：2022-04-29 | 【打印】

近日，紫金山天文台研究员袁强和上海交通大学牵头的PandaX合作组及李政道学者葛韶锋合作，在《物理评论快报》以“编辑推荐”论文发表了PandaX-II二期实验寻找宇宙线加速轻暗物质的结果【PRL, 128, 171801 (2022)】。这是首次由暗物质直接探测实验开展数据分析寻找这一信号，也是PandaX实验组首次同国内理论学者合作完成从唯象理论的提出到实验探测的全链条研究。

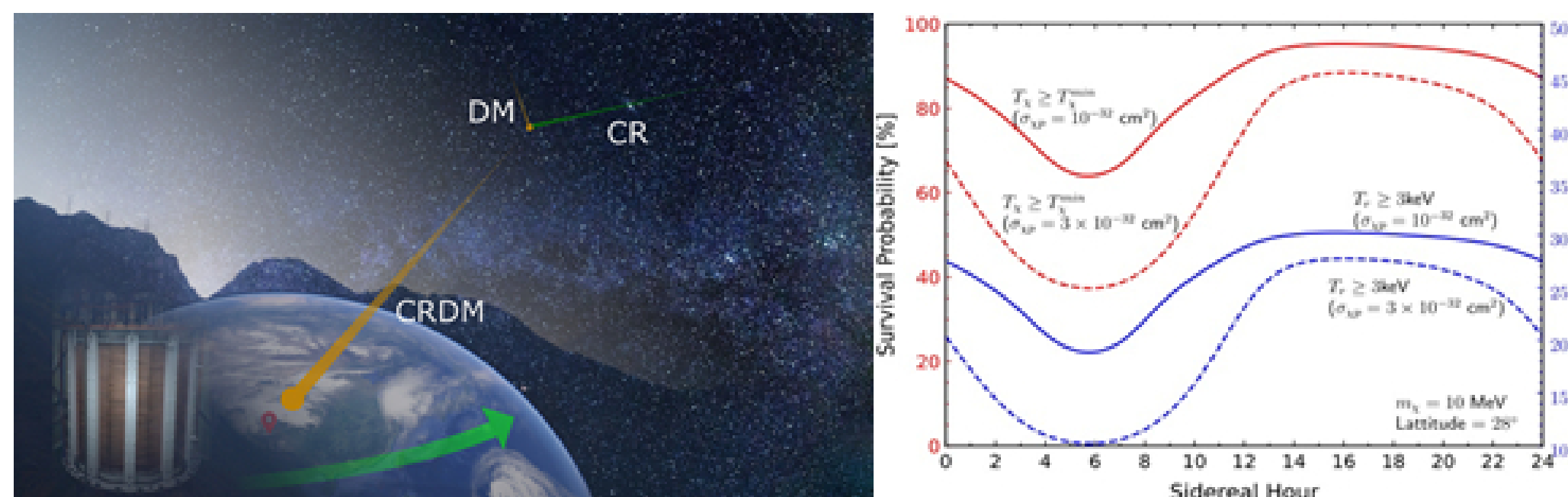


图1：（左图）宇宙线（CR：cosmic ray）加速的轻暗物质（DM：dark matter）主要来自银河系中心方向，（右图）由于地球自转和屏蔽效应引起的恒星日周期性调制特征。

该研究采用的信号探针，是由葛韶锋、袁强和PandaX实验组成员周宁、刘江来在另一篇合作文章中提出的：来自银河系宇宙线加速的轻暗物质由于地球自转和屏蔽效应导致的恒星日周期性调制特征【PRL, 126, 091804 (2021)】。近年来，对质量在GeV以下（sub-GeV）的轻暗物质的研究备受关注，但由于质量较轻，产生的核反冲信号的能量过低，不能被探测器捕捉。然而，只要暗物质和原子核有相互作用，就一定有小部分的轻暗物质被宇宙线中的高能粒子碰撞加速，从而获得足够高的动能，在探测器中产生可观测的信号。由于暗物质和宇宙线的分布不均匀，被加速的轻暗物质呈各向异性分布，以银河系中心方向流量最高。高速轻暗物质穿过地球时和岩石原子核碰撞散射，会损失动能并发生角度偏转。由于地球自转，暗物质到达探测器需穿越的岩层净厚度会产生从2.4公里（锦屏地下实验室的埋深）到1万多公里（地球的直径）周期变化，从而在探测器中形成一种特有的恒星日周期性调制信号（图1）。该探针同传统暗物质直接探测均依赖于暗物质和核子的相互作用，因此模型依赖性低，结果具有很强的普适性。“物理”网站（phys.org）曾就该效应进行了专题报道（详见<https://phys.org/news/2021-03-diurnal-effect-cosmic-ray-boosted-dark.html>）。

通过和PandaX实验组合作，研究团队针对这个新型的恒星日调制信号，对暗物质穿过岩石进入锦屏地下实验室的过程做了细致的蒙特卡洛模拟，完整包含了核形状因子和角度偏转的效应，并且考虑了弹性散射过程的适用范围，最终得到了可靠的地球屏蔽效应。实验组提取了PandaX-II二期580公斤液氙探测实验400天全部曝光数据的恒星时信息，对相应的原子核反冲信号区，利用计数率和能谱随恒星时的分布，对宇宙线加速轻暗物质展开了细致搜寻。得益于PandaX实验的低放射性本底和大曝光量，实验组对轻暗物质给出了严格的限制（图2）。研究表明，PandaX液氙直接探测实验可以覆盖sub-GeV质量区间前所未有的很大参数空间，排除了暗物质-核子在 10^{-31} cm^2 和 10^{-28} cm^2 三个数量级的散射截面。这是首个由暗物质直接探测实验组采用宇宙线加速暗物质手段给出的限制，超越了宇宙学和天文观测对轻暗物质的限制。目前新一代PandaX-4T四吨级液氙探测实验正在紧张取数中，其具有更低的本底水平和更高的探测灵敏度，将进一步探索轻暗物质的参数空间。

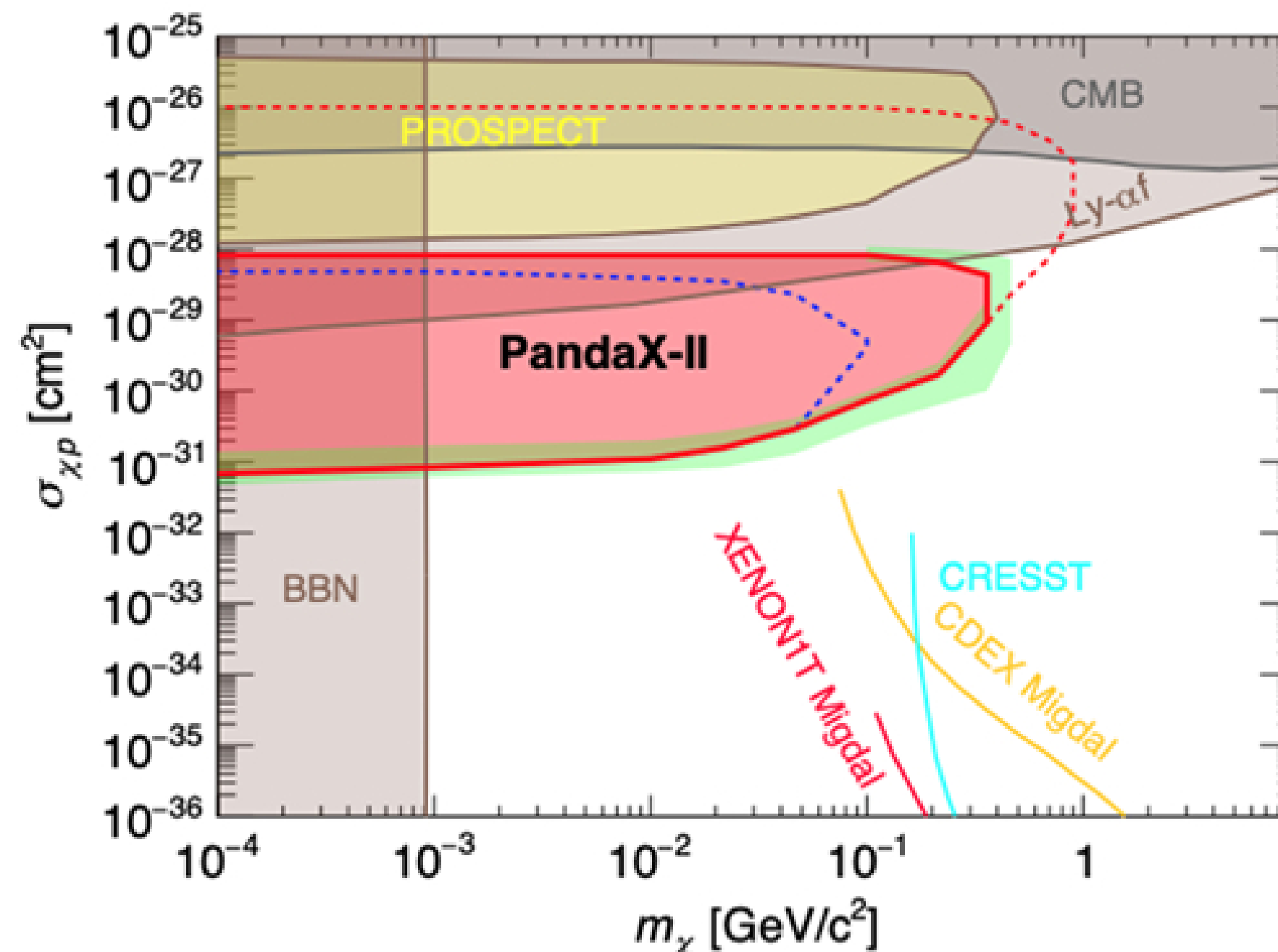


图2：PandaX-II实验数据利用天调制新探针对于轻质量暗物质的严格限制。

李政道研究所博士后崔祥仪为论文第一作者，上海交大物理与天文学院周宁副教授和紫金山天文台袁强研究员为共同通讯作者。袁强的研究得到中国科学院和江苏省相关研究计划的资助；PandaX实验得到教育部、上海交通大学、以及合作组单位的长期支持，并得到自然科学基金委、科技部、上海市、四川省、中科院“粒子物理前沿”卓越创新中心、香港鸿文基金会和腾讯基金会的重要资助；本研究工作还得到了由清华大学和雅砻江水电共同开发、管理的锦屏地下实验室的大力协助。

文章链接：<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.128.171801>